

中等專業學校教學用書



電工測量和測量

B. C. 波波夫 著

陳 以 鴻 譯

龍門聯合書局

本書係根據蘇聯動力出版社(Государственное энергетическое издательство)出版的波波夫(В С Попов)著“電工測量和測量儀器”(Электротехнические измерения и приборы)1952年修訂第四版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為中等技術學校教科書。

本書論述測量電流、電壓、電阻、電感、電容、功率、電能、相差和頻率的儀器及方法，遠距離測量和磁的測量，以及關於電工測量和測量儀器的實驗。本書除供動力和機電方面的中等技術學校作教科書之用外，同時亦可用作工程技術人員的參考書。

本書由交通大學陳以鴻翻譯，該校電工量計教研室校訂。

電工測量和測量儀器 ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

В. С. ПОПОВ 著

陳 以 鴻 譯

★版權所有★

龍門聯合書局出版

上海市書刊出版業營業許可證出 029 號

上海茂名北路300弄3號

新華書店總經理

中科藝文聯合印刷廠印刷

上海延安中路537號

開本: 850×1168 1/32 印數: 27,001—31,000 冊

印張: 12 16/32

1953年11月第一版

字數: 340,000

1956年5月第十次印刷

定價: (10) 1.80 元

目 錄

序

導言	1
----	---

第一章 測量方法和測量誤差	5
---------------	---

1-1. 測量的方法	5
1-2. 與度量 and 測量儀器有關的基本概念和定義	6
1-3. 測量時的誤差	9
1-4. 電的量的單位制	17

第二章 電單位的度量	23
------------	----

2-1. 電勢的度量	23
2-2. 電阻的度量	24
2-3. 電感和互感的度量	30
2-4. 電容的度量	30

第三章 電工測量儀器概說	32
--------------	----

3-1. 儀器的分類	32
3-2. 直接讀數的電工測量儀器概說	40
3-3. 對於電工測量儀器的要求	45
3-4. 測量儀器的誤差	46
3-5. 測量儀器的功率	51
3-6. 測量儀器的阻尼	52
3-7. 測量儀器的絕緣強度	53
3-8. 測量儀器的過載能力	53
3-9. 測量儀器的平衡	54
3-10. 構成測量儀器的零件	54

第四章 測量電流和電壓的儀器	61
----------------	----

4-1. 安培計和伏特計的特點	61
4-2. 磁電式低靈敏度儀器的測量機構	63

4-3. 分流器	66
4-4. 附加電阻	69
4-5. 測量電流和電壓用的低靈敏度磁電式儀器	72
4-6. 高靈敏度磁電式儀器(電流計)	75
4-7. 整流式儀器	91
4-8. 電子管式儀器	96
4-9. 熱電式儀器	99
4-10. 電磁式儀器	101
4-11. 電動式儀器	106
4-12. 鐵磁電動式儀器	113
4-13. 感應式儀器	114
4-14. 靜電式儀器	120
4-15. 熱線式儀器	123
4-16. 用補償法測量電壓和電流的儀器(補償器)	125
第五章 儀用變壓器及變流器	131
5-1. 儀用變壓器及變流器的用途	131
5-2. 變壓器概說	131
5-3. 儀用變壓器	134
5-4. 儀用變流器	140
第六章 電阻的測量	150
6-1. 與測量電阻有關的一般說明	150
6-2. 用安培計和伏特計法測量中等電阻	150
6-3. 用單臂電橋測量中等電阻	151
6-4. 與測量小電阻有關的說明	154
6-5. 用安培計和毫伏計法測量小電阻	155
6-6. 用雙臂電橋測量小電阻	156
6-7. 與測量大電阻有關的說明	158
6-8. 用電流計和伏特計法測量大電阻	161
6-9. 用代替法測量大電阻	162
6-10. 測量電阻用的指示儀器(歐姆計)	164
6-11. 與測量現成裝置的絕緣電阻有關的說明	170
6-12. 裝置不在工作電壓下時絕緣電阻的測量	172
6-13. 裝置在工作電壓下時絕緣電阻的測量	174

6-14. 與確定線路絕緣損壞地點有關的說明	178
6-15. 用迴路法確定絕緣損壞地點	178
6-16. 用電壓降法確定絕緣損壞地點	180
6-17. 與接地有關的基本概念和定義	181
6-18. 用安培計和伏特計法測量接地電阻	185
6-19. 列寧格勒電工學院的測量接地電阻用的儀器(補償測量法)	185
6-20. 測量接地電阻用的 MC-07 型儀器	186
6-21. 用三電極法測量接地電阻	188
6-22. 地面電位的測量	189
第七章 電感、互感和電容的測量	191
7-1. 與電感、互感和電容的測量有關的說明	191
7-2. 用交流測量電感	191
7-3. 用電橋測量電感	193
7-4. 互感的測量	195
7-5. 用交流測量電容	197
7-6. 測量電容的指示儀器(法拉計)	199
7-7. 用衝擊電流計測量電容	201
7-8. 用電橋測量電容	202
第八章 直流、單相交流和三相交流電路內功率的測量	206
8-1. 用安培計和伏特計測量直流電路內的功率	206
8-2. 電動式瓦特計用於直流電路	206
8-3. 電動式瓦特計用於交流電路	209
8-4. 感應式瓦特計	216
8-5. 應用儀用變流器和變壓器測量交流電路內的功率	219
8-6. 四線三相交流電路內有功功率的測量	224
8-7. 各相負載平衡時三線三相交流電路內有功功率的測量	227
8-8. 用二瓦特計法測量三線三相交流電路內的有功功率	233
8-9. 三相交流電路內無功功率的測量	240
8-10. 應用儀用變流器和變壓器測量三相交流電路內的功率	243
第九章 電能和電量的測量	247
9-1. 感應式單相交流有功瓦時計	247
9-2. 感應式無功瓦時計	254
9-3. 三相交流電路內有功電能的測量	256

9-4. 三相交流電路內無功電能的測量	258
9-5. 電動式瓦時計	261
9-6. 磁電式安時計	262
第十章 功率因數(相角差)和交流頻率的測量	263
10-1. 電動式相位計	263
10-2. 電磁式相位計	265
10-3. 振動式赫志計	267
10-4. 鐵磁電動式赫志計	268
10-5. 燈泡式同步指示器	269
10-6. 電磁式同步指示器	270
第十一章 自動記錄儀器	272
11-1. 自動記錄儀器的用途	272
11-2. 連續記錄儀器	272
11-3. 斷續記錄儀器	274
11-4. 一般說明	276
第十二章 示波器	278
12-1. 示波器的用途	278
12-2. 具有磁電式測量機構的機電示波器	278
12-3. 電子管(「無慣性」)示波器	282
第十三章 遠距離測量	290
13-1. 一般說明	290
13-2. 整流式	291
13-3. 發電機式	292
13-4. 補償式	292
13-5. 脈衝式	294
13-6. 光控脈衝式	295
13-7. 相加法	297
第十四章 磁的測量	301
14-1. 一般說明	301
14-2. 磁通計	302
14-3. 用衝擊電流計法求磁化曲線和磁滯迴線	303

14-4. 用電動法求磁化曲線和磁滯迴線·····	308
14-5. 用較差法求磁化曲線·····	310
14-6. 測鐵計·····	313
14-7. 用瓦特計法求鋼損耗·····	316
14-8. 鋼損耗的區分·····	318
14-9. 用較差法求鋼損耗·····	320
第十五章 實驗·····	323
一、對做實驗的一般指示·····	323
二、組成電路的元件和它們的容許工作條件·····	325
三、實驗·····	330
15-1. 指針電流計(實驗 1)·····	330
15-2. 鏡子電流計(實驗 2)·····	333
15-3. 帶有熱電堆和整流器的磁電式儀器的校準(實驗 3)·····	335
15-4. 與檢驗安培計、伏特計和瓦特計有關的指示·····	336
15-5. 工程安培計的檢驗(實驗 4)·····	338
15-6. 工程伏特計的檢驗(實驗 5)·····	339
15-7. 工程瓦特計的檢驗(實驗 6)·····	340
15-8. 範型安培計的檢驗(實驗 7)·····	343
15-9. 儀用變流器誤差的決定(實驗 8)·····	344
15-10. 用單臂電橋測量電阻(實驗 9)·····	347
15-11. 用雙臂電橋測量電阻(實驗 10)·····	348
15-12. 絕緣電阻的測量(實驗 11)·····	348
15-13. 接地電阻的測量(實驗 12)·····	349
15-14. 用交流電橋測量電感(實驗 13)·····	350
15-15. 用交流電橋測量電容(實驗 14)·····	351
15-16. 感應式瓦時計的檢驗和調節(實驗 15)·····	351
15-17. 用二元件瓦特計測量功率(實驗 16)·····	353
15-18. 三相交流高壓電路內功率的測量(實驗 17)·····	355
15-19. 有功和無功瓦時計接入三相交流電路(實驗 18)·····	358
15-20. 鋼損耗的決定(實驗 19)·····	360
附錄 蘇聯製造的電工測量儀器的一些數據·····	363
中俄文對照索引·····	383

導 言

要研究電的現象和確定各種電的量的關係，必須進行測量並應用測量儀器。

一方面，由測量得到新的知識和新的發現；另一方面，這些知識和發現又保證測量本身有繼續發展的可能。電工測量的發展歷史，是與電的理論的發展歷史，與電工技術的發展歷史緊密地聯繫着的。

俄國的科學家、發明家和工程師們：M. B. 羅蒙諾索夫和 Г. B. 黎赫曼，B. B. 彼特羅夫、B. C. 雅柯比和 Э. X. 楞次，A. Г. 斯托列托夫、П. H. 雅勃洛奇柯夫和 И. Ф. 烏薩庚，M. O. 陀里伏-陀勃羅伏耳斯基和 A. C. 波波夫等等，他們的名字是與電工學發展的主要階段分不開的，他們是卓越的實驗家，同時也是電工測量方面的奠基者和創造者。

在十八世紀中期，祖國科學的天才奠基者 M. B. 羅蒙諾索夫對於測量各種電的量的可能性作了歷史上第一次的啓發。M. B. 羅蒙諾索夫（在 1753 年）和他的戰友俄國科學院院士 Г. B. 黎赫曼（在 1752 年）發明並製造了世界上最早的電工測量儀器。

這些儀器的基本工作原理，對於現代的儀器還是一樣的。這原理就是，被測的量產生一種力，作用於儀器的能動部分，使它移動到新的位置，在這位置作用力與反作用力（由重力或彈簧力產生）平衡。被測的量的值就根據儀器能動部分的位置而斷定。

俄國科學院院士鮑里斯·謝密諾維奇·雅柯比（1801—1874 年）的工作對於電工測量的發展具有重大的意義。他是最早致力於統一測量電的量的人們中的一個，是他首先用校準的金屬線作為電阻的標準，並製造了許多測量電阻的儀器和有標尺的測量儀器。

在 1881 年第一屆國際電學家代表大會上，根據卓越的物理學家、莫斯科大學教授亞歷山大·格利高利葉維奇·斯托列托夫的提議，通過

了絕對電磁單位制和絕對靜電單位制。爲了實用的目的，並在會上通過了以絕對電磁單位制爲基礎的絕對實用單位制。

我們應該感謝 A. Γ. 斯托列托夫對於衝擊測量法的研究，這種方法使我們可以用實驗來決定鐵磁物質的磁化曲線，從而作磁路的計算。

卓越的俄國電工學家 M. O. 陀里伏-陀勃羅伏耳斯基在電工測量的發展上所起的作用是特殊偉大的。它創造了主要供交流電路內測量用的許多測量儀器，特別是鐵磁電動式儀器和用來測量功率和功率因數的鉛盤感應式儀器。他首先採用測量儀器的「轉矩」這名詞，並首先指出，這轉矩和儀器的能動部分的重量一樣，決定着儀器的構造的機械特性。

M. O. 陀里伏-陀勃羅伏耳斯基曾研究出測量電的和磁的量的新方法，其中包括至今採用的決定銅損耗的瓦特計法。

П. Н. 雅勃洛奇柯夫和 И. Ф. 烏薩庚的發明變壓器，並把它用於測量電路，對於電工測量技術具有重大的意義。

П. Н. 雅勃洛奇柯夫是俄國第一個製造電工測量儀器的工廠的創辦人。

雖然許多俄國科學家在電工測量方面有巨大的成就，但是在沙皇俄國，電工測量儀器的工業生產差不多完全沒有，而國內的簡單的需要還是由外國公司來供應的。

在推翻地主和資本家的政權以後，工人階級在共產黨的領導之下把政權取到了自己的手裏，開始建設社會主義社會。符·伊·列寧曾經指出，國家電氣化是社會主義勝利的最重要的條件。他在 1920 年曾經非常明確地闡述了電氣化的意義：「共產主義——這就是蘇維埃政權加全國電氣化。」

在 1920—1921 年，不管經濟破壞和國內戰爭，擬訂並通過了著名的列寧、斯大林國家電氣化計劃——全俄電化委員會計劃。

在這個計劃的實施過程中，我們國內不僅建築了最大的發電站，而且創立了電氣工業，包括電工儀器製造工業在內。

在斯大林五年計劃的年代裏，組織了電工測量儀器的生產，進行了

儀器製造人才的培養；在科學研究實驗室和實驗設計局，研究了電工測量儀器的理論和計算方法，以及新型的國產儀器和新的連續生產法。最後，還建造了生產電工測量儀器的最大的工廠。

在偉大的衛國戰爭時期，電工儀器製造工業光榮地經過了撤退工廠和完成戰時訂貨的嚴重考驗。

在恢復和發展蘇聯國民經濟的五年計劃中，電氣工業方面預定1950年電工測量儀器的生產量要增大到七倍於1940年的生產量的任務，基本上完成了。

在戰後斯大林五年計劃的年代裏，祖國的電工儀器製造工業得到了巨大的成就。爲了適應工業方面和科學研究機關方面的需要，研究並掌握了各式各種電工測量儀器的大量生產，這些儀器都達到了電工測量技術的最新成就的水平。

這些成就的最顯明的標誌是：

1. 陸續出產準確度0.2級的磁電式和電動式範型儀器（М-81、ЭЛА、ЭЛВ等型）。
2. 陸續大量出產準確度0.5級的電磁式實驗室儀器（АСТ-А、АСТ-В等型）。
3. 大量出產直流和交流電流計（М-21、ВГ等型）。
4. 大量出產多種範圍的儀器和萬用儀器。
5. 出產電勢、電阻、電感和電容的範型度量。
6. 出產測量電阻、電感和電容用的寬範圍電橋。
7. 出產磁電式和電子管示波器（МПО-2、ЭО-4、ЭО-5等型）。
8. 由於採用新的磁合金、絕緣材料和構造材料，大大地放寬了儀器的測量範圍和提高了儀器的質量標誌。
9. 儀器的外觀有重大的改進。—

在斯大林五年計劃的年代裏生長起來的蘇聯電工儀器製造工業，現在正出產着科學和技術方面所必需的一切控制測量儀器。

先進的科學家和設計者們：М. А. 沙吉連、Н. Н. 波諾馬烈夫、Е. Н. 施臘姆柯夫、А. В. 塔李茨基、А. Д. 聶斯吉聯柯、В. О. 阿魯玖諾夫、Я. С.

阿微爾巴赫、A. M. 達姆斯基、B. A. 謝里別爾、H. H. 臘淑莫夫斯基、B. H. 勃里諾夫、Г. K. 維尼等，光榮地擔負了交給他們的任務，創造了國產的電工測量儀器的許多新穎結構。

電工儀器製造工業的工廠同人的功績也是偉大的，他們已經能夠研究和掌握許多不同型式的儀器，並將它們運用到生產中和放到傳送帶上去裝配起來。

祖國電工儀器製造的許多設計者們，由於他們的研究工作，榮膺了斯大林獎金獲得者的崇高稱號。

第一章 測量方法和測量誤差

1-1. 測量的方法

測量任何一個量的意思，就是拿它和同一種類的、習慣地被採作單位的一個量作比較。測量的結果用被測的量與測量單位的比值表示。

測量單位或測量單位的分數或倍數的複製實體，稱做度量。

用來比較被測的量和測量單位的設備，稱做測量儀器。

在測量時，利用度量和測量儀器，並採用各種不同的測量方式或方法。測量方法有直接法^①和間接法的區別。

將被測的量直接與同一種類的量比較的測量方法，稱做直接法。

直接法分為直接計值法和比較法兩種。

當被測的量直接由測量儀器的讀數決定，儀器的刻度就是被測的量的值時，這種方法稱做直接計值法，例如用安培計測量電流，用瓦特計測量功率等。

當被測的量直接與這量的度量比較而決定時，這種方法稱做比較法，例如測量電壓時將它與標準電池的電勢（電勢的度量）比較。

比較法包括下面幾種：

1. 零值法。
2. 較差法。
3. 代替法。

零值法——就是被測的量（或與被測的量具有函數關係的量）對於儀器的作用被同一種類的已知量的作用抵消到零的方法，例如測量電勢時用已知電壓來補償它，測量電阻時利用電橋。

較差法——就是利用儀器測量未知量與已知量之間的差的方法，

① 直接法常稱做相對法或比較法。

例如用較差法求銅損耗(參閱第十四章)。

代替法——就是用已知量(度量)來代替被測的量而不引起測量儀器讀數的變更的方法,例如用代替法測量電阻(參閱第六章)。

當未知量不直接測量,而根據別的量的測量結果和被測的量與未知量之間的關係值計算時,這種方法稱做間接法。例如測量導體的電阻時,可用安培計測量導體內的電流,而用伏特計測量導體兩端的電壓。已知電流 I 、電壓 U 與電阻 r_x 之間的關係,可從下式求出電阻:

$$r_x = \frac{U}{I}.$$

在電工技術上,實際應用最普遍的是直接計值的直接法,因為這方法最簡單,需要的測量時間也最短,不過測量的準確度不高(0.2—10%)而已。

要得到較準確的測量結果(達 0.001%),可利用零值法,這方法需要很長的測量時間,並需要較複雜而貴重的儀器設備。

1-2. 與度量和測量儀器有關的基本概念和定義

度量和測量儀器分為範型的和運用的。

用來複製和保存測量單位並用來檢驗和校準各種度量和測量儀器的度量和測量儀器,稱做範型度量和範型測量儀器。

一切度量和測量儀器,除了範型的以外,凡用於實際測量的目的的,稱做運用度量和運用測量儀器。

範型度量和範型測量儀器分為標準(第一標準、第二標準、第三標準)和限定準確度(一級、二級和三級)的度量和測量儀器。

用於複製和保存單位的目的、並具有在目前的測量技術的情況下所能達到的最高準確度(度量衡學上的準確度)的範型度量和範型測量儀器,稱做標準。

具有一定的較小的準確度(比了度量衡學上的準確度)、並用來實際檢驗和校準各種度量和測量儀器的度量和測量儀器,稱做限定準確度的範型度量和範型測量儀器。

運用度量和運用測量儀器分為實驗室的和工程的。

使用時必須計及測量準確度的度量和測量儀器，稱做實驗室度量和實驗室測量儀器。

使用時採取一定的、預先確定的測量準確度的度量和測量儀器，稱做工程度量和工程測量儀器。

以後我們講到的將限於限定準確度的度量和運用度量。

度量的標稱值就是度量上所標明的值。

度量的實際值就是用範型度量或範型測量儀器決定的值。

度量的標稱值 A_n 與實際值 A 的差稱做度量的絕對誤差 ΔA ：

$$\Delta A = A_n - A \quad (1-1)$$

度量的實際值與標稱值的差稱做度量的絕對補值 δA ：

$$\delta A = A - A_n = -\Delta A \quad (1-2)$$

補值等於誤差的負值：

$$\delta A = -\Delta A.$$

從方程 (1-2) 得

$$A = A_n + \delta A, \quad (1-3)$$

即要得到度量的實際值，應將補值與度量的標稱值用代數法相加。

測量儀器的讀數就是儀器直接指出的被測的量的值。

被測的量的實際^①值就是用範型度量或範型測量儀器決定的值。

儀器的讀數與被測的量的實際值的差，稱做儀器的絕對誤差。

用 A_1 代表測量儀器的讀數， A 代表被測的量的實際值， ΔA 代表儀器的絕對誤差，可寫成：

$$\Delta A = A_1 - A \quad (1-4)$$

被測的量的實際值與儀器讀數的差，稱做儀器的補值 δA ，即

$$\delta A = A - A_1 \quad (1-5)$$

補值等於誤差的負值：

① 必須注意，實際值並不是真正值。

$$\delta A = -\Delta A.$$

從方程 (1-5) 得

$$A = A_1 + \delta A, \quad (1-6)$$

即要得到被測的量的實際值，應將補值與儀器讀數用代數法相加。

例 1-1. 安培計讀數 $I_1 = 20$ 安。

範型安培計讀數 $I = 20.4$ 安。

安培計誤差：

$$\Delta I_1 = I_1 - I = 20 - 20.4 = -0.4 \text{ 安}.$$

安培計補值：

$$\delta I_1 = -\Delta I_1 = I - I_1 = 20.4 - 20 = 0.4 \text{ 安}.$$

用安培計所測電流的實際值：

$$I = I_1 + \delta I_1 = 20 + 0.4 = 20.4 \text{ 安}.$$

有些儀器用改正因數代替補值。改正因數就是爲了得到被測的量的實際值所必需將儀器讀數乘上的數值。

絕對誤差與被測的量的實際值相比的百分數稱做測量儀器的相對（實際^①）誤差：

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A} 100\% = \frac{A_1 - A}{A} 100\%. \quad (1-7)$$

絕對誤差與儀器的最大測量限值相比的百分數稱做測量儀器的單位相對誤差：

$$\gamma_n = \frac{\Delta A}{A_n} 100\%. \quad (1-8)$$

例 1-2. 安培計讀數： $I_1 = 20$ 安。

安培計的最大測量限值或標稱電流： $I_n = 50$ 安。

範型安培計的讀數： $I = 20.5$ 安。

相對測量誤差：

$$\gamma_{I_1} = \frac{I_1 - I}{I} 100\% = \frac{20 - 20.5}{20.5} 100\% \approx -2.5\%.$$

① 絕對誤差與被測的量的所得值的比稱做儀器的相對標稱誤差。不難指出，相對實際誤差與相對標稱誤差之間很少區別，在許多情形中是可以彼此代替的。

安培計的單位相對誤差：

$$\gamma_n = \frac{I_1 - I}{I_n} 100\% = \frac{20 - 20.5}{60} 100\% = -1\%.$$

依照全蘇標準、指示或章則，儀器可以有的最大單位相對誤差，稱做測量儀器的容許誤差：

$$\gamma_0 = \frac{\Delta A_{\text{最大}}}{A_n} 100\%. \quad (1-9)$$

儀器讀數的可靠程度稱做測量儀器的準確度。它是用儀器的容許誤差來評定的。

決定儀器誤差的手續稱做測量儀器的檢驗。

當外界條件不變時，由儀器重複測得對應於被測的量的同一實際值的不同讀數間的最大差別，稱做測量儀器讀數的變差值。

儀器在相同條件下測量同一量所得讀數的穩定程度，稱做測量儀器的恆定度。儀器的恆定度決定於它的變差值。

1-3. 測量時的誤差

無論我們用什麼方法測量一個量，無論我們怎樣仔細地進行測量，由於測量儀器的不準確，測量方法的不完善，我們的感覺器官的不完善，最後並由於使測量結果受到影響的一切偶發的情形，我們永遠不可能得到被測的量的完全準確的值。因此在作任何測量時，我們不僅應確定被測的量的數值，還要確定它的準確程度。

被測的量的所得值與它的實際值的差，稱做絕對測量誤差。

絕對測量誤差與被測的量的實際值相比的百分數，稱做相對測量誤差。

例 1-3. 測量電阻時得出它的值 $r_1 = 202$ 歐。電阻的實際值 $r = 200$ 歐。

絕對測量誤差：

$$\Delta r = r_1 - r = 202 - 200 = 2 \text{ 歐}.$$

相對誤差：

$$\gamma_r = \frac{\Delta r}{r} 100\% = \frac{2}{200} 100\% = 1\%.$$

測量誤差分爲三類：

1. 有規則誤差。
2. 偶然誤差。
3. 疏失誤差。

所謂有規則誤差，就是在重複測量同一量時維持不變或按一定規律而變的誤差。這種誤差可被檢查決定，因此它們對於測量結果的影響可用適當的補值來消除。屬於有規則誤差的有下面幾種：

1. 由測量儀器的不完善或不正確所造成的儀器誤差。
2. 因測量設備的裝置不正確而產生的裝置誤差。
3. 因測量方法不完善而產生的方法誤差或理論誤差。
4. 與實驗者的個人特性有關的人身誤差。

例 1-4. 如果我們用米尺來測量導體的長度幾次，然後在檢驗米尺本身的長度時，發現它比實際值小一些，則顯然由於米尺的不準確，我們在每次測量時得到量值和符號恆定的誤差，這就是有規則誤差。

例 1-5. 如果我們用伏特計測量電池的電勢幾次，而伏特計的指針是有些彎曲的，則顯然我們便在每次測量時得到量值和符號恆定的有規則誤差。

例 1-6. 如果我們用安培計測量電流，而安培計的標尺刻得不準確，則顯然我們在每次測量這電流時得到量值和符號恆定的有規則誤差。

例 1-7. 如果我們用伏特計測量電壓幾次，這伏特計的反作用力矩是由重量系統的電力產生的，而在測量時沒有將它垂直放置，則我們在每次測量電壓時得到量值和符號都不變的有規則誤差。

例 1-8. 如果利用安培計和伏特計測量電阻 r_x (圖 1-1) 幾次，則我們在每一次決定 r_x

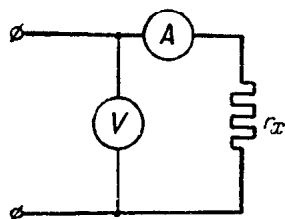


圖 1-1. 用安培計和
伏特計測量電阻

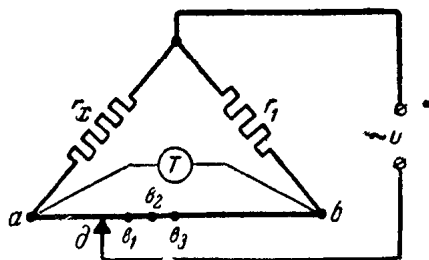


圖 1-2. 滑線電橋